

27



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 37 969 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**H 04 L 12/28**  
G 06 F 13/362  
// G08C 15/00

②1 Aktenzeichen: 100 37 969.9  
②2 Anmeldetag: 3. 8. 2000  
④3 Offenlegungstag: 28. 2. 2002

DE 100 37 969 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Jaenicke, Peter, 91058 Erlangen, DE

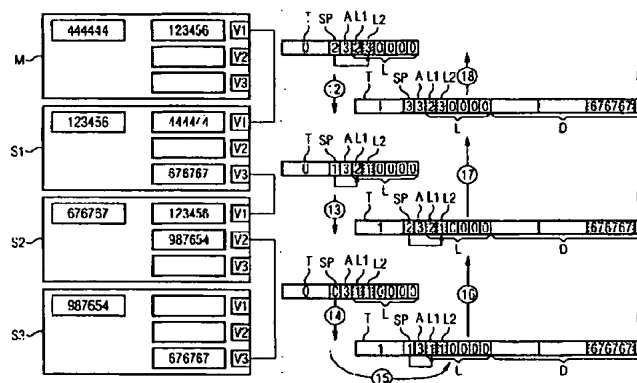
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 40 00 921 A1  
US 57 29 685 A  
US 49 65 791 A

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Erkennung einer flexiblen Vernetzung von Baugruppen bei beliebiger Netztopologie sowie zum Informationsaustausch zwischen solchen Baugruppen

⑤7 Zur Erkennung der realisierten Netztopologie von über mindestens zwei bidirektionale Verbindungsschnittstellen in physikalischer Punkt-zu-Punkt-Verbindung in beliebiger Netztopologie flexibel vernetzten Baugruppen wird durch die Benutzung von Telegrammen, die statt der Benutzung einer Teilnehmeradresse eine Beschreibung des Weges durch das Netzwerk enthalten, und durch geeignetes Verändern der Telegramme bei der Weiterleitung automatisch eine Beschreibung des Rückweges aufgebaut.



DE 100 37 969 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erkennung der realisierten Netztopologie mit mindestens einer Master-Baugruppe und einer Mehrzahl von über mindestens zwei bidirektionale Verbindungsschnittstellen verfügenden Slave-Baugruppen, die in physikalischer Punkt-zu-Punkt-Verbindung in beliebiger Netztopologie flexibel vernetzt sind und die jeweils über ein eindeutiges Identifizierungsdatum verfügen.

[0002] Für moderne dezentrale Vernetzungsstrategien von elektrischen oder elektro-mechanischen Baugruppen, z. B. von dezentralen Antrieben, besteht Bedarf an Konzepten, die eine möglichst flexible Verbindung von Baugruppen und eine möglichst einfache Inbetriebnahme ermöglichen. Deshalb soll die Vernetzung nicht auf eine bestimmte Topologie festgelegt werden. Es sollen als Netztopologie für die Verbindung von Baugruppen Linie, Ring, Stern, Baum und beliebige Mischungen möglich sein. Außerdem soll die Inbetriebnahme über eine zentrale Stelle erfolgen können, ohne das Einstellungen an den einzelnen Busteilnehmern nötig sind.

[0003] Herkömmlicherweise wird bei Netzwerken eine Adressvergabe an jedem einzelnen Teilnehmer notwendig (Schaltereinstellung oder Parametrierung), wodurch aber der Aufwand und die Fehleranfälligkeit bei der Inbetriebnahme steigen. Andernfalls besitzt das Netzwerk nur eine eingeschränkte Topologie. Dadurch ist somit die Flexibilität der Vernetzung eingeschränkt.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zu schaffen, mit dem von einer zentralen Stelle die tatsächlich realisierte Topologie erkannt werden kann und eine Kommunikation zu den einzelnen Baugruppen ermöglicht wird. Dies soll auch noch funktionieren, wenn mehrere zentrale Baugruppen, sogenannte Master-Baugruppen, gleichzeitig die Netztopologie erkunden.

[0005] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Erkennung der realisierten Netztopologie mit mindestens einer Master-Baugruppe und einer Mehrzahl von über mindestens zwei bidirektionale Verbindungsschnittstellen verfügenden Slave-Baugruppen, die in physikalischer Punkt-zu-Punkt-Verbindung in beliebiger Netztopologie flexibel vernetzt sind und die jeweils über ein eindeutiges Identifizierungsdatum verfügen, dadurch gelöst, dass jede Master-Baugruppe sukzessiv die Identifizierungsdaten jeder Ebene der an diese Master-Baugruppe angeschlossenen Slave-Baugruppen abfragt, indem über deren Verbindungsschnittstellen Telegramme übertragen werden, in denen Informationen hinterlegt sind, über welche Verbindungsschnittstelle das jeweilige Telegramm weitergeleitet werden soll, wobei diese Informationen bei der Weiterleitung jedes Telegramms derart verändert werden, dass automatisch eine Beschreibung des Rückweges durch das Netzwerk aufgebaut wird, wobei über diesen Rückweg jedes erkundete Identifizierungsdatum mit Hilfe des jeweiligen Telegramms an die Master-Baugruppe zurückgeliefert wird.

[0006] Nach einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung wird dies durch folgende Verfahrensschritte erreicht:

- ständige Prüfung an jeder Verbindungsschnittstelle jeder Baugruppe auf Verbindung mit einer anderen Baugruppe und gegenseitiger Austausch der jeweiligen Identifizierungsdaten,
- Aussenden eines Telegramms durch jede Master-Baugruppe an jede Baugruppe der nächsthöheren Ebene mit der Aufforderung, die jeweilige Konfiguration der Verbindungsschnittstelle und die zugehörigen

Identifikationsdaten zurückzusenden, wobei in dem jeweiligen Telegramm Informationen hinterlegt sind, über welche Verbindungsschnittstelle die Baugruppen der vorangehenden Ebene die Telegramme weiterleiten sollen,

- automatischer Aufbau einer Beschreibung des Rückweges zur Master-Baugruppe durch Veränderung jedes Telegramms bei der Weiterleitung durch die Baugruppe der vorangehenden Ebene durch Eintragung in das jeweilige Telegramm, über welche Verbindungsschnittstelle das Telegramm empfangen wurde,
- rekursive Wiederholung der vorangehenden Schritte für jede nächsthöhere Ebene von Baugruppen, bis alle Baugruppen identifiziert sind.

[0007] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens verhindert ein Erkennungsproblem für den Fall, dass zwischen einer Master-Baugruppe und einer Slave-Baugruppe zwei oder mehr parallele Verbindungen bestehen, indem jede Slave-Baugruppe, die eine Aufforderung einer Master-Baugruppe zum Zurücksenden des Telegramms erhält, zusätzlich zur jeweiligen Konfiguration der Verbindungsschnittstellen und den zugehörigen Identifikationsdaten auch eine Information über diejenige Verbindungsschnittstelle zurücksendet, über die das Telegramm zurücktransportiert wird, wobei dieses zusätzliche Datum beim Weiterleiten durch andere Baugruppen nicht verändert wird.

[0008] Besonders vorteilhaft umfasst jedes Identifizierungsdatum den Baugruppentyp, insbesondere dessen Funktion, und eine eindeutige Seriennummer.

[0009] Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung wird zur Veränderung eines Telegramms bei der Weiterleitung durch die Baugruppe der vorangehenden Ebene das jeweilige Telegramm erst komplett empfangen und erst weitergeleitet, wenn die vorgegebene Sendeverbindungsschnittstelle frei ist.

[0010] Voraussetzung für die Erfindung ist die Benutzung einer physikalischen Punkt zu Punkt Verbindung. Dies ist bei schneller Datenübertragung (> 100 Mbit/s) wegen der sonst auftretenden Reflexionen ohnehin üblich. Bei Übertragung über Lichtwellenleiter (LWL) ist ebenso eine physikalische Punkt-zu-Punkt-Verbindung gegeben.

[0011] Eine Baugruppe im Netzwerk muss damit über zwei oder mehr Verbindungsschnittstellen verfügen. Baugruppen mit einer Verbindungsschnittstelle sind auch möglich, stellen aber damit das Ende einer Stichleitung dar, was somit besonders für Aktoren und Sensoren wie Leistungsteile und Geber sinnvoll ist, wobei über diese Verbindungsschnittstelle Telegramme empfangen und gesendet werden können.

[0012] Mehrere Verbindungsschnittstellen sind zunächst unabhängig voneinander. Jede Baugruppe verfügt über ein Identifikationsdatum (ID) in der beispielsweise der Baugruppentyp (z. B. Antrieb, Leistungsteil, Drehgeber etc.) und eine Seriennummer enthalten ist.

[0013] Das Erkunden des Netzwerkes erfolgt in mehreren Schritten:

60 Jede Baugruppe prüft an jeder Verbindungsschnittstelle ständig ob eine andere Baugruppe angeschlossen ist, falls dies der Fall ist tauschen beide ihre ID aus. Dadurch hat jede Baugruppe nach dem Einschalten eine Konfiguration ihrer Verbindungsschnittstellen, in der für jede Verbindungsschnittstelle die ID des Kommunikationspartners gespeichert ist.

[0014] Eine Masterbaugruppe also eine Baugruppe, die per Voreinstellung oder Parametrierung vorgesehen ist, das

Netz zu erkunden, in einem Antriebsverband z. B. eine numerische Steuerung – weiß über den selben Mechanismus, an welchen Verbindungsschnittstellen Baugruppen hängen, die ihrerseits über weitere Verbindungsschnittstellen verfügen. Dies ist aus den jeweiligen IDs ersichtlich.

[0015] Über diese Verbindungsschnittstellen sendet der Master Telegramme mit der Aufforderung, die Konfiguration der Verbindungsschnittstellen und die ID der Baugruppe zurückzusenden, wodurch die Baugruppen der ersten Ebene bekannt sind.

[0016] Wenn dies erfolgt ist, hat die Masterbaugruppe einen Überblick über die Baugruppen, die nicht direkt, sondern nur über eine andere Baugruppe erreicht werden können (Baugruppen der zweiten Ebene). Nun wird diesen Baugruppen ein Telegramm geschickt mit der Aufforderung, die ID und Konfiguration zu senden. Entscheidend ist dabei, dass dazu im Telegramm Informationen hinterlegt sind, über welche Verbindungsschnittstelle die Baugruppen der ersten Ebene die Telegramme weiterleiten sollen. In das Telegramm wird von den Baugruppen der ersten Ebene eingetragen, über welche Verbindungsschnittstelle sie dieses Telegramm empfangen haben. Auf diese Weise ist beim Antworttelegramm der Rückweg zum Master bekannt.

[0017] Besonders vorteilhaft ist dabei, wenn das Telegramm komplett empfangen und erst weitergesendet wird, wenn die Sende-Verbindungsschnittstelle frei ist.

[0018] Die Master-Baugruppe kennt nach Abfragen aller weiteren Baugruppen der zweiten Ebene alle Baugruppen der dritten Ebene. Dieses Verfahren wird nun rekursiv solange angewendet bis alle Baugruppen in dem Netzwerk bekannt sind.

[0019] Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens nach der vorliegenden Erfindung wird dieses weitergebildet, indem für von einer Master-Baugruppe ausgesendete Telegramme ein anderer Telegrammtyp verwendet wird, als für von einer Master-Baugruppe zu empfangende Telegramme.

[0020] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung weist für jedes Telegramm einen Sprungzähler für die maximale Anzahl der Ebenen auf, der für von einer Master-Baugruppe ausgesendete Telegramme dekrementiert und für von einer Master-Baugruppe zu empfangende Telegramme inkrementiert wird oder umgekehrt.

[0021] Besonders vorteilhaft dient der jeweilige Wert des Sprungzählers einer Slave-Baugruppe zur Erkennung, ob die gewünschte Ebene von Slave-Baugruppen erreicht ist.

[0022] Außerdem dient der jeweilige Wert des Sprungzählers einer Master-Baugruppe vorteilhaft zur Erkennung, ob ein Antworttelegramm an diese gerichtet ist.

[0023] Des weiteren ermöglicht eine Kommunikation nach dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung eine weitere Inbetriebnahme, z. B. durch Vergabe von Busadressen, durch Parametrierung etc., indem Telegramme zur Erkennung der Netztopologie verwendet werden, während anschließender Datenaustausch zwischen Baugruppen über den jeweiligen Baugruppen zugewiesene Teilnehmeradressen erfolgt, wobei Teilnehmeradressen von einer Master-Baugruppe als Bestandteil eines Telegramms bei der Netzerkennung an die erkannte Baugruppe vergeben werden.

[0024] Besonders vorteilhaft lässt sich das Verfahren nach der vorliegenden Erfindung zur Erkennung der Vernetzung der Baugruppen durch die Master-Baugruppe zur zentralen Inbetriebnahme einer numerisch gesteuerten industriellen Bearbeitungsmaschine einsetzen, insbesondere einer Werkzeugmaschine oder einem Roboter, mit einer numerischen Steuerung als Master-Baugruppe und einer Mehrzahl von elektrischen Antrieben als Slave-Baugruppen.

[0025] Darüber hinaus kann das erfindungsgemäße Ver-

fahren auch zum Austausch von beliebigen Informationen zwischen in beliebiger Netztopologie flexibel in physikalischer Punkt-zu-Punkt-Verbindung vernetzten Baugruppen Verwendung finden, indem jede Baugruppe Telegramme aussenden und empfangen kann und jedes Telegramm die auszutauschenden Informationen beinhaltet.

[0026] Entscheidend ist die Benutzung von Telegrammen, die statt der Benutzung einer Teilnehmeradresse eine Beschreibung des Weges durch das Netzwerk enthalten. Durch geeignetes Verändern der Telegramme bei der Weiterleitung wird automatisch eine Beschreibung des Rückweges aufgebaut.

[0027] Aus den im vorangehenden beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrensschritten und Einsatzmöglichkeiten ergeben sich unter anderem folgende Vorteile gegenüber dem bekannten Stand der Technik:

- es sind keine Einschränkungen der Netztopologie erforderlich,
- ein falsches Anschließen von Baugruppen an das Netzwerk ist ausgeschlossen, auch redundante und unsinnige Verbindungen stören das Netzwerk nicht,
- es sind keine Einstellungen oder Parametrierungen an den am Netzwerk teilnehmenden Baugruppen notwendig, wodurch die Inbetriebnahme vereinfacht, beschleunigt und weniger fehleranfällig wird,
- bei Verwendung einer geeigneten Busphysik – z. B. nach dem Universal Serial Bus (USB) Standard – ist das Anschließen oder Trennen von Baugruppen am oder vom Netzwerk im Betrieb ist möglich,
- da für das Erkunden des Netzwerkes keine Informationen auf den Baugruppen hinterlassen werden, können auch mehrere Master die Topologie untersuchen ohne sich zu stören.

[0028] Weitere Einzelheiten und Details ergeben sich anhand der nun folgenden Beschreibung eines vorteilhaften Ausführungsbeispiels und in Verbindung mit den Figuren. Dabei sind Elemente mit gleicher Funktionalität mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet. Es zeigen im einzelnen:

[0029] Fig. 1 Schematische Darstellung einer Baugruppe,

[0030] Fig. 2 Prinzipieller Telegrammaufbau,

[0031] Fig. 3 Austausch der Identifizierungsdaten zwischen Baugruppen,

[0032] Fig. 4 Datenaustausch zwischen Master-Baugruppe und Slave-Baugruppe der ersten Ebene,

[0033] Fig. 5 Datenaustausch zwischen Master-Baugruppe und Slave-Baugruppe der zweiten Ebene und

[0034] Fig. 6 Datenaustausch zwischen Master-Baugruppe und Slave-Baugruppe der dritten Ebene.

[0035] In der Darstellung nach Fig. 1 ist der prinzipielle Aufbau einer Baugruppe gezeigt. Jede Baugruppe, Master- oder Slave-Baugruppe, besitzt ein eindeutiges Baugruppen-Identifizierungsdatum B\_ID. Des weiteren verfügt jede Baugruppe über mindestens zwei bidirektionale Verbindungsschnittstellen, zumindest halb-duplex fähig, sofern es sich nicht um Endteilnehmer einer Stichleitung wie z. B. Sensoren oder Aktoren handelt. Im in Fig. 1 gezeigten Beispiel sind drei Verbindungsschnittstellen V1, V2, V3 vorgesehen, denen jeweils Speicherplätze zur Aufnahme des Verbindungspartner-Identifizierungsdatums L\_ID1, L\_ID2, L\_ID3 vorgesehen sind, also der Baugruppen-ID der an die jeweilige Schnittstelle angeschlossenen Baugruppe.

[0036] Fig. 2 zeigt einen möglichen Aufbau des Telegramms zum Austausch zwischen den Baugruppen. Das Telegramm besteht aus einer Liste von Daten, welche den Telegrammtyp, einen Sprungzähler, die Anzahl der maximalen

Sprünge, eine weitere Liste der Verbindungsschnittstellen sowie optionale Daten zur Aufnahme von zu übertragenden Informationen beinhaltet. Die Reihenfolge ist beliebig, muss jedoch einheitlich in Form eines Protokolls gehandhabt werden.

[0037] In dem dem Ausführungsbeispiel zugrundeliegenden Fall steht am Beginn der Telegrammtyp T, entweder Anfragemodus (z. B. Wert "0") oder Antwortmodus (z. B. Wert "1"), gefolgt von dem Sprungzähler S und der Anzahl A maximaler Sprünge, welche mit der Zahl der zu untersuchenden Ebenen innerhalb des Netzwerks verbunden ist. Es schließt sich eine Liste L mit den möglichen Verbindungsschnittstellen sowie ein optionaler Datenbereich D an.

[0038] In der Darstellung nach Fig. 3 ist der erste Verfahrensschritt skizziert, welcher den Austausch der Baugruppen-Identifizierungsdaten B ID der einzelnen Baugruppen des Netzwerks umfasst. Das gezeigte Netzwerk besteht aus einer Master-Baugruppe M (ID = 444444) und drei Slave-Baugruppen S1 (ID = 123456), S2 (ID = 676767) und S3 (ID = 987654), welche jeweils den in Fig. 1 beschriebenen Aufbau besitzen.

[0039] Die Master-Baugruppe M und die Slave-Baugruppe S1 sind jeweils über ihre Verbindungsschnittstellen Nil miteinander verbunden. Die Slave-Baugruppe S2 ist über deren Verbindungsschnittstelle V1 mit der Schnittstelle V3 von der Slave-Baugruppe S1 verbunden. Die Slave-Baugruppe S3 wiederum ist mit deren Verbindungsschnittstelle V3 mit der Schnittstelle V2 von Slave-Baugruppe S2 verbunden. Dieser prinzipielle Aufbau des Netzwerks liegt auch den weiteren Darstellungen nach Fig. 4 bis Fig. 6 zugrunde.

[0040] In Verfahrensschritt 1 tauschen die Masterbaugruppe M und die Slave-Baugruppe S1 ihre jeweiligen Baugruppen-IDs aus, so dass in dem zu Schnittstelle Nil der Master-Baugruppe Speicherplatz die Baugruppen-ID von Slave-Baugruppe S1 bekannt ist und umgekehrt. In Schritt 2 geschieht das gleiche zwischen den Slave-Baugruppen S1 und S2 sowie in Schritt 3 für die Slave-Baugruppen S2 und S3. Als Ergebnis der ersten drei Verfahrensschritte 1 bis 3 kennt die Master-Baugruppe M die Teilnehmer an seinen Verbindungsschnittstellen.

[0041] In der Darstellung nach Fig. 4 ist der Datenaustausch der Master-Baugruppe mit den Baugruppen der ersten Ebene, hier die Slave-Baugruppe S1, gezeigt. Dabei sind neben den beteiligten Baugruppen M und S1 die diesen und den im folgenden erläuterten Verfahrensschritten 4 bis 6 zugehörigen Telegramme gezeigt.

[0042] Das Sendetelegramm besitzt den in Fig. 2 gezeigten Aufbau. Der Telegrammtyp T ist 'Anfrage' bzw. "0", der Sprungzähler SP steht auf "0", die Anzahl A der maximalen Sprünge beträgt "1" und die Liste L mit den Verbindungsschnittstellen ist in diesem Telegramm beliebig (im gezeigten Beispiel alle Positionen auf Null).

[0043] In einem Verfahrensschritt 4 wird dieses Telegramm an die Slave-Baugruppe S1 geschickt. Anhand der Information Sprungzähler SP = 0 erkennt die Slave-Baugruppe S1 dass sie Ziel des Telegramms ist.

[0044] Die Slave-Baugruppe S1 antwortet daraufhin in Verfahrensschritt 5 mit der Konfiguration ihrer Verbindungsschnittstellen, indem diese Informationen sowie die Nummer N der Verbindungsschnittstelle, über die das Telegramm zurückgesendet wird – hier "1" –, als Daten D an das Telegramm angehängt werden und der Telegrammtyp T auf 'Antwort' bzw. "1" geändert wird. Der Sprungzähler SP wird inkrementiert auf SP = 1 und das Telegramm über die Empfangsschnittstelle – hier V1 – wieder ausgesendet.

[0045] In einem weiteren Verfahrensschritt 6 erkennt die Master-Baugruppe M anhand der Übereinstimmung von

Sprungzähler SP und der Anzahl A der maximalen Sprünge (beide haben den Wert "1"), dass sie Ziel des Antworttelegramms ist. Anhand der angehängten Daten D sind der Master-Baugruppe M damit die Teilnehmer an der Slave-Baugruppe S1 bekannt.

[0046] In der Darstellung nach Fig. 5 ist der Datenaustausch der Master-Baugruppe mit den Baugruppen der zweiten Ebene, hier die Slave-Baugruppe S2, gezeigt. Dabei sind neben den beteiligten Baugruppen M, S1 und S2 die den im folgenden erläuterten Verfahrensschritten 7 bis 11 zugehörigen Telegramme gezeigt.

[0047] Das Sendetelegramm besitzt wiederum den in Fig. 2 gezeigten Aufbau. Der Telegrammtyp T ist 'Anfrage' bzw. "0", der Sprungzähler SP steht auf "1", die Anzahl A der maximalen Sprünge beträgt "2" und die Liste L mit den Verbindungsschnittstellen ist in diesem Telegramm nur auf dem ersten Listenplatz L1 mit dem Wert "3" belegt. Die übrigen Positionen sind beliebig (im gezeigten Beispiel alle Positionen auf Null).

[0048] Der Wert "1" des Sprungzählers SP stellt einen Verweis (Zeiger) auf den Listenplatz L1 dar.

[0049] In einem Verfahrensschritt 7 wird dieses Telegramm an die Slave-Baugruppe S1 geschickt. Anhand der Information Sprungzähler SP = 1 erkennt die Slave-Baugruppe S1, dass sie nicht Ziel des Telegramms ist, und leitet das Telegramm in Verfahrensschritt 8 über die Verbindungsschnittstelle weiter, die auf dem Listenplatz L1 vermerkt ist – hier an die Slave-Baugruppe S2 über die Verbindungsschnittstelle V3, welche dem Wert L1 = 3 entspricht.

[0050] Außerdem wird zuvor auf Listenplatz L1 die Nummer der Empfangsschnittstelle – hier "1" wegen Verbindungsschnittstelle V1 von Slave-Baugruppe S2 – eingetragen und der Sprungzähler SP wegen des Telegrammtyps 0 = "Anfrage" auf "0" dekrementiert.

[0051] Die Slave-Baugruppe S2 antwortet daraufhin in Verfahrensschritt 9 mit der Konfiguration ihrer Verbindungsschnittstellen, indem diese Informationen sowie die Nummer N der Verbindungsschnittstelle, über die das Telegramm zurückgesendet wird – hier ebenfalls "1" –, als Daten D an das Telegramm angehängt werden und der Telegrammtyp T auf 'Antwort' bzw. "1" geändert wird. Der Sprungzähler SP wird inkrementiert auf SP = 1 und das Telegramm über die Empfangsschnittstelle – hier V1 – wieder ausgesendet.

[0052] Im folgenden Verfahrensschritt 10 erkennt die Slave-Baugruppe S1, welche mit dieser Schnittstelle verbunden ist, anhand des Sprungzählerwertes SP = 1, dass sie nicht Adressat ist, und leitet das Telegramm weiter über die Verbindungsschnittstelle, die auf Listenplatz L1 des Telegramms vermerkt ist – hier ist dies der Wert "1", also Verbindungsschnittstelle V1. Zuvor wird auf dem Listenplatz L1 die Empfangsschnittstelle – hier Wert = 3 für Verbindungsschnittstelle V3 – eingetragen und der Sprungzähler SP inkrementiert auf SP = 2 wegen des Telegrammtyps 1 = "Antwort".

[0053] In einem weiteren Verfahrensschritt 11 erkennt die Master-Baugruppe M anhand der Übereinstimmung von Sprungzähler SP und der Anzahl A der maximalen Sprünge (beide haben den Wert "2"), dass sie Ziel des Antworttelegramms ist. Anhand der angehängten Daten D sind der Master-Baugruppe M damit auch die Teilnehmer an der Slave-Baugruppe S2 bekannt.

[0054] In der Darstellung nach Fig. 6 ist der Datenaustausch der Master-Baugruppe mit den Baugruppen der dritten Ebene, hier die Slave-Baugruppe S3, gezeigt. Dabei sind neben den beteiligten Baugruppen M, S1 und S2 die den im folgenden erläuterten Verfahrensschritten 12 bis 18 zugehörigen Telegramme gezeigt.

[0055] Das Sendetelegramm besitzt wiederum den in Fig. 2 gezeigten Aufbau. Der Telegrammtyp T ist „Anfrage“ bzw. „0“, der Sprungzähler SP steht auf „2“, die Anzahl A der maximalen Sprünge beträgt „3“ und die Liste L mit den Verbindungsschnittstellen ist in diesem Telegramm auf den beiden ersten Listenplätzen L1 mit dem Wert „2“ und L2 mit dem Wert „3“ belegt. Die übrigen Positionen sind beliebig (im gezeigten Beispiel alle Positionen auf Null). Der Wert „2“ des Sprungzählers SP stellt einen Verweis (Zeiger) auf den Listenplatz L2 dar.

[0056] In einem Verfahrensschritt 12 wird dieses Telegramm an die Slave-Baugruppe S1 geschickt. Anhand der Information Sprungzähler SP = 2 erkennt die Slave-Baugruppe S1, dass sie nicht Ziel des Telegramms ist, und leitet das Telegramm in Verfahrensschritt 13 über die Verbindungsschnittstelle weiter, die auf dem Listenplatz L2 vermerkt ist – hier an die Slave-Baugruppe S2 über die Verbindungsschnittstelle V3, welche dem Wert L2 = 3 entspricht.

[0057] Außerdem wird zuvor auf Listenplatz 12 die Nummer der Empfangsschnittstelle – hier „1“ wegen Verbindungsschnittstelle V1 von Slave-Baugruppe S2 – eingetragen und der Sprungzähler SP wegen des Telegrammtyps 0 = „Anfrage“ auf „1“ dekrementiert.

[0058] Anhand der Information Sprungzähler SP = 1 erkennt die Slave-Baugruppe S2, dass sie nicht Ziel des Telegramms ist, und leitet das Telegramm in Verfahrensschritt M über die Verbindungsschnittstelle weiter, die auf dem Listenplatz L1 vermerkt ist – hier an die Slave-Baugruppe S3 über die Verbindungsschnittstelle V2, welche dem Wert L1 = 2 entspricht.

[0059] Außerdem wird zuvor auf Listenplatz L1 die Nummer der Empfangsschnittstelle – hier „1“ wegen Verbindungsschnittstelle V1 von Slave-Baugruppe S2 – eingetragen und der Sprungzähler SP wegen des Telegrammtyps 0 = „Anfrage“ auf „0“ dekrementiert.

[0060] Die Slave-Baugruppe S3 antwortet daraufhin in Verfahrensschritt 15 mit der Konfiguration ihrer Verbindungsschnittstellen, indem diese Informationen sowie die Nummer N der Verbindungsschnittstelle, über die das Telegramm zurückgesendet wird – hier „3“ –, als Daten D an das Telegramm angehängt werden und der Telegrammtyp T auf „Antwort“ bzw. „1“ geändert wird. Der Sprungzähler SP wird inkrementiert auf SP = 1 und das Telegramm über die Empfangsschnittstelle – hier V3 – wieder ausgesendet.

[0061] Im folgenden Verfahrensschritt 16 erkennt die Slave-Baugruppe S2, welche mit dieser Schnittstelle verbunden ist, anhand des Sprungzählerwertes SP = 1, dass sie nicht Adressat ist, und leitet das Telegramm weiter über die Verbindungsschnittstelle, die auf Listenplatz L1 des Telegramms vermerkt ist – hier ist dies der Wert „1“, also Verbindungsschnittstelle V1. Zuvor wird auf dem Listenplatz L1 die Empfangsschnittstelle – hier Wert = 2 für Verbindungsschnittstelle V2 – eingetragen und der Sprungzähler SP inkrementiert auf SP = 2 wegen des Telegrammtyps 1 = „Antwort“.

[0062] Im folgenden Verfahrensschritt 17 erkennt die Slave-Baugruppe S1, welche mit dieser Schnittstelle verbunden ist, anhand des Sprungzählerwertes SP = 2, dass sie nicht Adressat ist, und leitet das Telegramm weiter über die Verbindungsschnittstelle, die auf Listenplatz L2 des Telegramms vermerkt ist – hier ist dies der Wert „1“, also Verbindungsschnittstelle V1. Zuvor wird auf dem Listenplatz L2 die Empfangsschnittstelle – hier Wert = 3 für Verbindungsschnittstelle V3 – eingetragen und der Sprungzähler SP inkrementiert auf SP = 3 wegen des Telegrammtyps 1 = „Antwort“.

[0063] Im abschließenden Verfahrensschritt 18 erkennt die Master-Baugruppe M anhand der Übereinstimmung von

Sprungzähler SP und der Anzahl A der maximalen Sprünge (beide haben den Wert „3“), dass sie Ziel des Antworttelegramms ist. Anhand der angehängten Daten D sind der Master-Baugruppe M auch die Teilnehmer an der Slave-Baugruppe S3 und damit alle Slave-Baugruppen des Netzwerks bekannt.

[0064] Für den Fall, dass noch eine vierte und weitere Ebenen von Baugruppen im Netzwerk existieren würden, würde das vorangehend erläuterte Verfahren rekursiv solange weitergeführt, bis alle Ebenen mit den zugehörigen Baugruppen erkundet und damit bekannt sind.

[0065] Aus dem vorangehenden vorteilhaften Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens werden somit folgende weitere Aspekte und Vorteile deutlich:

- für Telegramme von und zur Master-Baugruppe M werden vorteilhafterweise unterschiedliche Telegrammtypen T verwendet, da die Slave-Baugruppen S1 bis S3 in einem Fall den Sprungzähler verringern und im anderen Fall erhöhen müssen,
- der Sprungzähler SP dient zum einen zur Erkennung, ob das Ziel erreicht ist, zum andern als Index in der Liste L der Verbindungsschnittstellen,
- durch Eintragen der Empfangs-Verbindungsschnittstellen V1, V2 oder V3 in die Liste L baut sich automatisch der Rückweg durch das Netzwerk auf,
- der Wert A für die maximale Anzahl der Sprünge ist nur notwendig, damit eine Master-Baugruppe M erkennen kann, dass ein Antworttelegramm an ihn gerichtet ist. Der Wert wird von keiner Baugruppe verändert,
- dass im vorangehenden Ausführungsbeispiel bei einem Antworttelegramm die Liste L geändert wird, ist nicht notwendig, aber eventuell einfacher zu implementieren durch eine ähnliche Behandlung von Anfrage- und Antwort-Telegrammen,
- im Ausführungsbeispiel wird die Erkennung der Topologie des Netzwerkes dargestellt. Derselbe Mechanismus kann aber auch zum Austausch beliebiger Informationen benutzt werden, die beispielsweise dem Telegramm als Sende- oder Empfangsdaten angefügt sind,
- eine Begrenzung der erreichbaren Baugruppen ergibt sich nur aus der maximalen Länge der Liste L und damit der möglichen Ebenen,
- da die Liste L – je nach Festlegung – sehr groß werden kann, ist es unter Umständen vorteilhaft, diese Telegramme nur für die Inbetriebnahme zu verwenden und im späteren Datenverkehr für die einzelnen Baugruppen des Netzwerkes Teilnehmeradressen zu benutzen. Diese Adressen können in der erläuterten Inbetriebnahme von der Master-Baugruppe M vergeben werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erkennung der realisierten Netztopologie mit mindestens einer Master-Baugruppe (M) und einer Mehrzahl von über mindestens zwei bidirektionale Verbindungsschnittstellen (V1, V2, V3) verfügenden Slave-Baugruppen (S1, S2, S3), die in physikalischer Punkt-zu-Punkt-Verbindung in beliebiger Netztopologie flexibel vernetzt sind und die jeweils über ein eindeutiges Identifizierungsdatum (B ID) verfügen, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede Master-Baugruppe (M) sukzessiv die Identifizierungsdaten L\_ID1, L\_ID2, L\_ID3 jeder Ebene der an diese Master-Baugruppe (M) angeschlossenen Slave-Baugruppen (S1

bis S3) abfragt, indem über deren Verbindungsschnittstellen (V1 bis V3) Telegramme übertragen werden, in denen Informationen (T, SP, A, L) hinterlegt sind, über welche Verbindungsschnittstelle (V1 bis V3) das jeweilige Telegramm weitergeleitet werden soll, wobei diese Informationen (T, SP, L) bei der Weiterleitung jedes Telegramms derart verändert werden, dass automatisch eine Beschreibung des Rückweges durch das Netzwerk aufgebaut wird, wobei über diesen Rückweg jedes erkundete Identifizierungsdatum (B\_ID) mit Hilfe des jeweiligen Telegramms an die Master-Baugruppe (M) zurückgeliefert wird.

2. Verfahren zur Erkennung der realisierten Netztopologie nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

- ständige Prüfung an jeder Verbindungsschnittstelle jeder Baugruppe auf Verbindung mit einer anderen Baugruppe und gegenseitiger Austausch (1, 2, 3) der jeweiligen Identifizierungsdaten (B\_ID),
- Aussenden (4, 7, 12) eines Telegramms durch jede Master-Baugruppe (M) an jede Baugruppe (S1 bis S3) der nächsthöheren Ebene mit der Aufforderung, die jeweilige Konfiguration der Verbindungsschnittstellen (V1 bis V3) und die zugehörigen Identifikationsdaten (D) zurückzusenden (5, 9, 15), wobei in dem jeweiligen Telegramm Informationen (SP, L) hinterlegt sind, über welche Verbindungsschnittstelle (V1 bis V3) die Baugruppen der vorangehenden Ebene die Telegramme weiterleiten sollen,
- automatischer Aufbau einer Beschreibung des Rückweges zur Master-Baugruppe (M) durch Veränderung (8, 10, 13, 14, 16, 17) jedes Telegramms bei der Weiterleitung durch die Baugruppe der vorangehenden Ebene durch Eintragung in das jeweilige Telegramm, über welche Verbindungsschnittstelle (V1 bis V3) das Telegramm empfangen wurde,
- rekursive Wiederholung der vorangehenden Schritte für jede nächsthöhere Ebene von Baugruppen, bis alle Baugruppen (S1 bis S3) identifiziert sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass jede Slave-Baugruppe (S1 bis S3), die eine Aufforderung einer Master-Baugruppe (M) zum Zurücksenden des Telegramms erhält, zusätzlich zur jeweiligen Konfiguration der Verbindungsschnittstellen (V1 bis V3) und den zugehörigen Identifikationsdaten (D) auch eine Information (N) über diejenige Verbindungsschnittstelle zurücksendet (5, 9, 15), über die das Telegramm zurücktransportiert wird, wobei dieses zusätzliche Datum beim Weiterleiten durch andere Baugruppen nicht verändert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Identifizierungsdatum (B\_ID) den Baugruppentyp, insbesondere dessen Funktion, und eine eindeutige Seriennummer umfasst.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zur Veränderung eines Telegramms bei der Weiterleitung durch die Baugruppe der vorangehenden Ebene das jeweilige Telegramm erst komplett empfangen wird und erst weitergeleitet wird, wenn die vorgegebene Sende-Verbindungsschnittstelle frei ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass für von einer Master-Baugruppe (M) ausgesendete Telegramme ein anderer Telegrammentyp (T) verwendet wird, als für von einer Master-Baugruppe (M) zu empfangende Telegramme.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass jedes Telegramm einen Sprungzähler (SP) für die maximale Anzahl der Ebenen aufweist, der für von einer Master-Baugruppe (M) ausgesendete (4, 7, 12) Telegramme dekrementiert und für von einer Master-Baugruppe (M) zu empfangende (6, 11, 18) Telegramme inkrementiert wird oder umgekehrt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige Wert des Sprungzählers (SP) einer Slave-Baugruppe (S1 bis S3) zur Erkennung dient, ob die gewünschte Ebene von Slave-Baugruppen erreicht ist.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige Wert des Sprungzählers (SP) einer Master-Baugruppe (M) zur Erkennung dient, ob ein Antworttelegramm an diese gerichtet ist.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass Telegramme zur Erkennung der Netztopologie verwendet werden, während anschließender Datenaustausch zwischen Baugruppen über den jeweiligen Baugruppen zugewiesene Teilnehmeradressen erfolgt, wobei Teilnehmeradressen von einer Master-Baugruppe (M) als Bestandteil (D) eines Telegramms bei der Netzerkennung an die erkannte Baugruppe vergeben werden.

11. Verfahren zur zentralen Inbetriebnahme einer numerisch gesteuerten industriellen Bearbeitungsmaschine, insbesondere einer Werkzeugmaschine oder einem Roboter, mit einer numerischen Steuerung als Master-Baugruppe (M) und einer Mehrzahl von elektrischen Antrieben als Slave-Baugruppen (S1 bis S3), wobei eine Erkennung der Vernetzung der Baugruppen durch die Master-Baugruppe (M) nach dem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 erfolgt.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass Baugruppen am Ende einer Stichleitung, insbesondere Aktoren und Sensoren, nur über eine Verbindungsschnittstelle verfügen, über die Telegramme empfangen und gesendet werden können.

13. Verwendung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche zum Austausch von beliebigen Informationen (D) zwischen in beliebiger Netztopologie flexibel in physikalischer Punkt-zu-Punkt-Verbindung vernetzten Baugruppen, dadurch gekennzeichnet, dass jede Baugruppe Telegramme aussenden und empfangen kann und jedes Telegramm die auszutauschenden Informationen (D) beinhaltet.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG 1

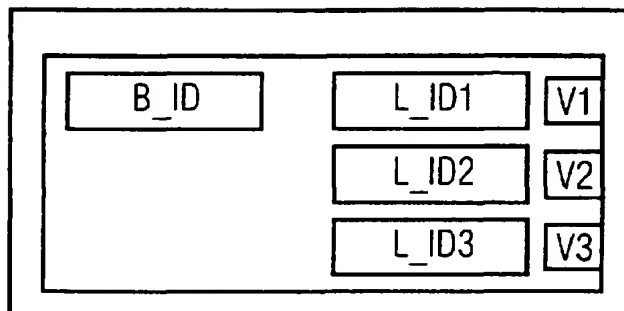


FIG 2

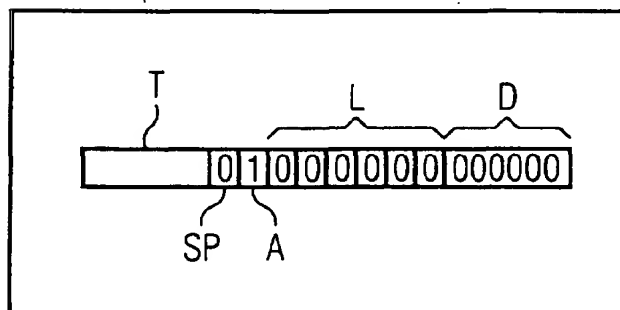


FIG 3

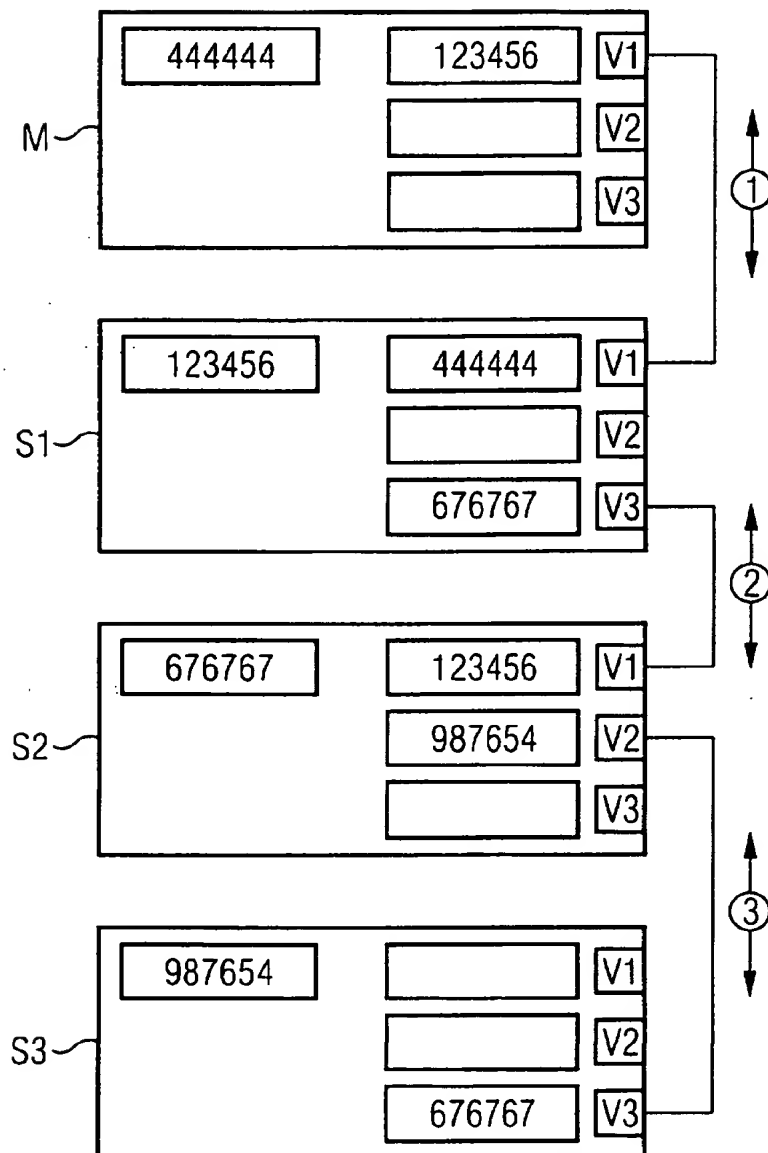




FIG 4

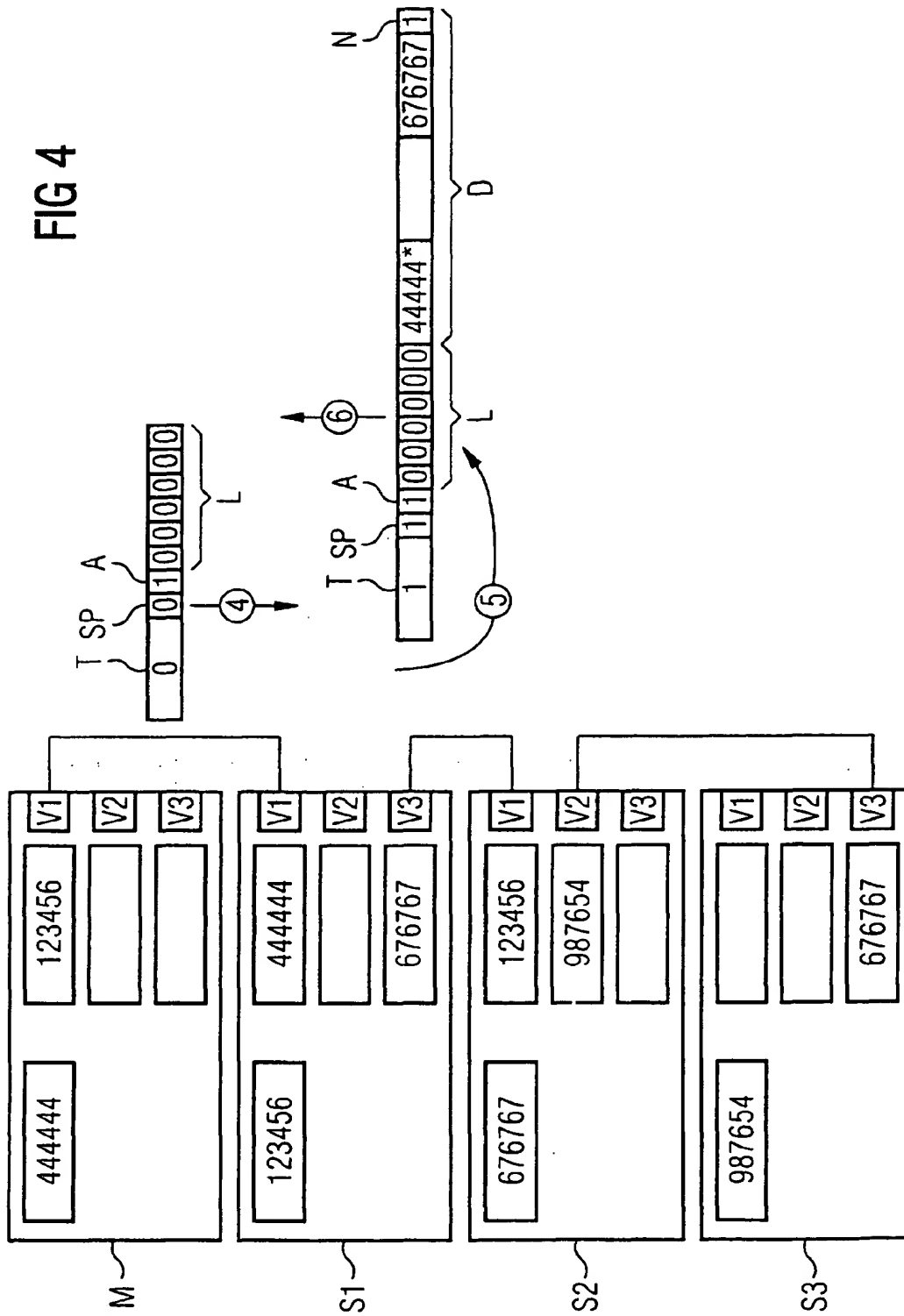


FIG 5

